儿童科学概念的跨领域激活与其基础知识掌握程度的关系：一例基于反应时的预研究

[1]

王众[1] 崔桢[2] 张翼[3]

（1. 北京行动者教育咨询有限公司,北京 101107；2. 北京市东城区前门小学,北京 100005；3. 北京市丰台区丰台第一小学,北京 100071）

注：本文实验数据及题目均已上传至科学数据银行（SciencDB）供开放获取，下载地址为：https://www.scidb.cn/en/detail?dataSetId=133e534429b7470aa7224725f2ef02c2

摘要：科学概念间激活（例如联想）不仅是儿童对科学知识的重要组织方式，亦是其学习复杂概念（如由多个知识点构成的复合概念）的一个重要途径。从一节电学课例的细节得到启发，利用 E-Prime 软件研究了拥有不同电学知识基础的学生对于电学单元内外概念的激活情况（以反应时为主要指标）。结果显示：①基础知识的掌握程度与概念的跨领域激活能力呈负相关，即基础知识越差，跨领域激活速度越快（P<0.05）；②基础知识越好，其激活行为越接近于科学教师。结论：①基础知识越差，其跨领域的联想能力越强，思维越活跃；②造成此种现象的原因可能源于思考的模式化；③由此，将发散思维作为创造力的心理学基础这一观点存在潜在的逻辑矛盾。

关键词：科学概念;概念激活;基础知识;反应时

特别鸣谢：北京市通州区科学教师，协助完成教师的问卷（详见本文“1.本研究的缘起”）。

由一个概念激活了另一个概念（如从一个概念联想到另一个概念），属于知识表征的组织形式，它反映出人脑对待大量知识的管理方式。而联想等概念激活方式又会产生新的学习结果：“联想学习是环境中不同刺激或事件之间的联结关系导致个体行为变化的一种效应”（吕晓晶、任学柱,2018）。因此，概念的激活对于儿童学习新的知识又起着重要的作用。但是，这种概念间的激活与调用受什么因素影响呢？主要的阻力是什么？这种激活能力的“最远发射功率”与“覆盖范围”是怎样的呢？

1. 本研究的缘起

本文的研究缘起于一节有关于电流的科学课。2022 年上半年，本文作者之一报告了一个课例细节：在

1 基金项目：北京市教育学会十四五课题“小学科学概念错误建构的诊断与改进策略研究”（FTYB2021-077）
通讯作者：王众，E-mail：wangzhong1011@sina.com

一节“导体和绝缘体”的课堂上，任课教师组织学生利用实验探究手边物体的导电性，并要求他们将这些物体划分为“导体”与“绝缘体”两类。在课程进行到一半时，该名教师突然向学生提问：“指北针是否是导体？”，并引导学生对指北针进行实验并分类。

该课例的独特之处并非在于指北针是否是导体（目前小学阶段使用的指北针大多是用铁磁体制作的，所以该节课的指北针自然为导体），而是“指北针”并不是电学单元的概念。以教科版教材（该节课即使用此版教材）为例，“指北针”隶属于二年级“磁铁”单元，而“导体和绝缘体”则隶属于四年级“电路”单元（郁波,2020）。一般来说，教师即使看到指北针也很难往“导电”的方向去联想，更不会引导学生去如此尝试（我们利用“问卷星”在北京市通州区的科学教师中进行关于此问题的调研，在回收的57份有效问卷中只有16位提到在最近一次讲授这节课时涉及到了指北针，占有效问卷的28.1%）。

我们调查了一下该名任课教师的背景情况，了解到该名教师为转岗教师（即所学专业与最初教授学科并非科学教育），且本学科基础知识较为薄弱。由此我们想到，该名教师活跃的联想力是否与其薄弱的基础知识有关？换言之，正是基础知识的薄弱，使其脑中没有那么多“条条框框”，进而跨领域（不同单元）概念的激活变得更容易，把“导电性”与“指北针”二者联系起来了呢？（注：为保护当事人的隐私，本段对事件细节做了微调，但不影响本文结论）

2. 文献综述

概念的激活属于知识的表征与组织，既往研究显示，概念的激活并不是随意的，而是有其内在规律可循的。

例如，Collins 和 Quillian 在 1969 年发现，人们对跨越两个语义等级（如“金丝雀是鸟”）的句子推导反应时间要比对表征跨越三个语义等级的句子（如“金丝雀是动物”）的反应时间更短。又如，Rips 等人在 1973 年发现，人们对“知更鸟是鸟”这样的句子的反应总是比“火鸡是鸟”的反应更为迅速。Rips 等人认为，之所以这样，是因为“对大多数人而言，知更鸟是一种典型的鸟，但火鸡不是”（凯瑟琳·加洛蒂,2017,P113）。

进一步的研究发现，这种激活的差异性与人对概念的组织关系相关。如吴亚楠等提出，儿童对概念的组织存在两种基本的偏好：分类学关系和主题关系。分类学关 系（taxonomic relation）是基于事物/客体本身内在的共享特征对事物/客体进行分类学上的划分。例如，“猪”和“羊”都属于“哺乳动物”这个分类范畴。而主题关系（thematic relation）是指在同一场景或事件中的事物/客体之间的外在关系。例如，“丛林”和“鸟”、“黑板”和“粉笔”都各自隶属于同一场景（吴亚楠等,2019）。吴亚楠等认为，这两种关系是儿童在概念组织与激活中主要依从的两种关系。但是，这两种关系之间是否存在主从关系，是否有竞争呢？对此，毕彦超等人以“医生”与“老师”等（分类学关系）语义概念和“医生”与“听诊器”等（主题关系）作为刺激条件，用功能性核磁共振研究了被试的大脑血氧依赖信号。结果发现，分类学表征为神经表征的主要组织维度，而主题表征内嵌于分类学表征内部但独立于分类学表征（Yangwen Xu,Xiaosha Wang,Xiaoying Wang et al,2018）。

这些研究皆表明，人对概念的组织与激活调用不仅具有复杂的结构与规律，而且这种结构是等级森严的。那么，如果我们把“分类”与“主题”皆视为一个领域，则显然的，概念的跨领域激活是不容易的。但这仅仅是我们由文献综述得出的推断，本文涉及的具体切入点，既往研究并不丰富。

就本文研究的内容而言，虽然既有成果不多，但也有一些证据指向了这个方向。例如，吴亚楠等提出，受教育程度会极大程度地影响儿童对概念的激活方式：“正规教育似乎增加了分类学思维，阻碍了主题性思维”（吴亚楠等,2019）。又如，张积家等提出：“未入幼儿园的儿童能够使用主题关联但不能使用 SF 联系（脚本联系）和分类学联系；幼儿园儿童能够使用主题关联和 SF 联系，但几乎不能使用分类学联系；四年级儿童能够使用 3 种概念联系”（张积家等,2010）。即，受教育程度（当然与所掌握知识有关）可能会影响概念的激活模式。因此，这些研究都至少部分地指向了本文的核心问题，但并未区分基础知识的差异。

而研究方法方面，利用反应时来衡量被试的概念激活水平已被证明为一行之有效的方法。如 Meyer 和 Schvaneveldt 在 1971 年利用扩散激活模型（spreading activation）去研究被试的概念激活，他们发现，如果一个字母串是一个真正的词汇的话（如“面包”），相对于一个无关联词汇（如“椅子”）或者一个不存在的单词（如 rencle），被试会在语义上与该词相关联的词（如“黄油”）做出更加快速的反应（凯瑟琳·加洛蒂,2017,P112）。又，张积家等人研究了中国不同少数民族（彝族、白族、摩梭人）的文化差异与亲属词汇激活的关系，该研究即采用的反应时法，如“对长辈亲属词对，‘上男下女’词对的反应时显著短于‘上女下男’词对”（张积家,2020）。

综上，儿童科学概念的跨领域激活会受到一定的桎梏，且很有可能与其基础知识相关。另一方面，利用反应时来测试概念的激活特点被文献证实是一种可行的方法。

3. 本研究基本猜想：

儿童对于科学概念的跨领域激活可能受到其基础知识的影响，并且可能是负相关，即基础知识越差，其跨领域的联想能力越强，反应速度越快。

4. 实验设计

4.1 基本思路

我们利用一中等学力、智力良好的班级，首先对其进行基础知识测试，目的为遴选出成绩最高与最低的几名学生，分别列入“高分组”与“低分组”。遴选目标为两组成绩具备显著性差异（采用独立样本 t 检验法，标准为 $P<0.05$）。然后作为实验刺激，分别让两组完成同一套同时含有电学单元内、外概念的试题（领域内、跨领域），以取得两组被试的反应时数据。最后，对两组反应时数据进行处理，检验二者是否具备显著性差异（采用独立样本 t 检验法，标准为 $P<0.05$），进而得到本文结论。

4.2 实验流程：见下图

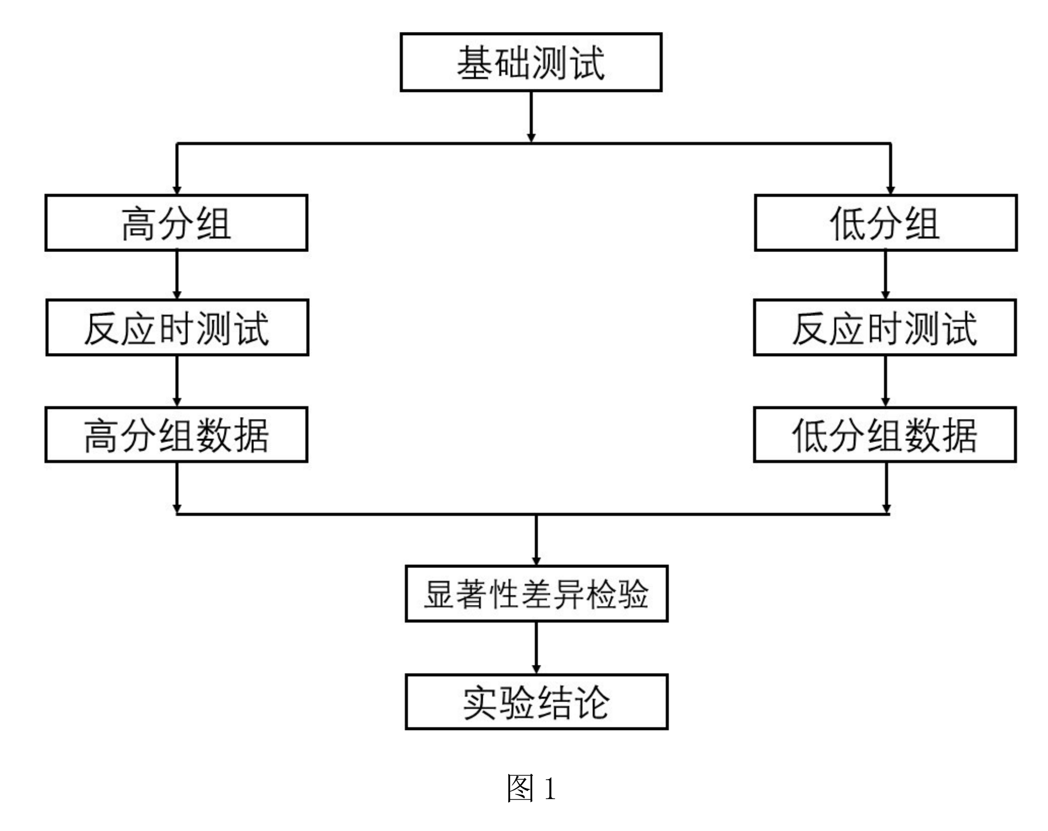


图 1

4.3 电学单元所含概念点及相互关系：见下图

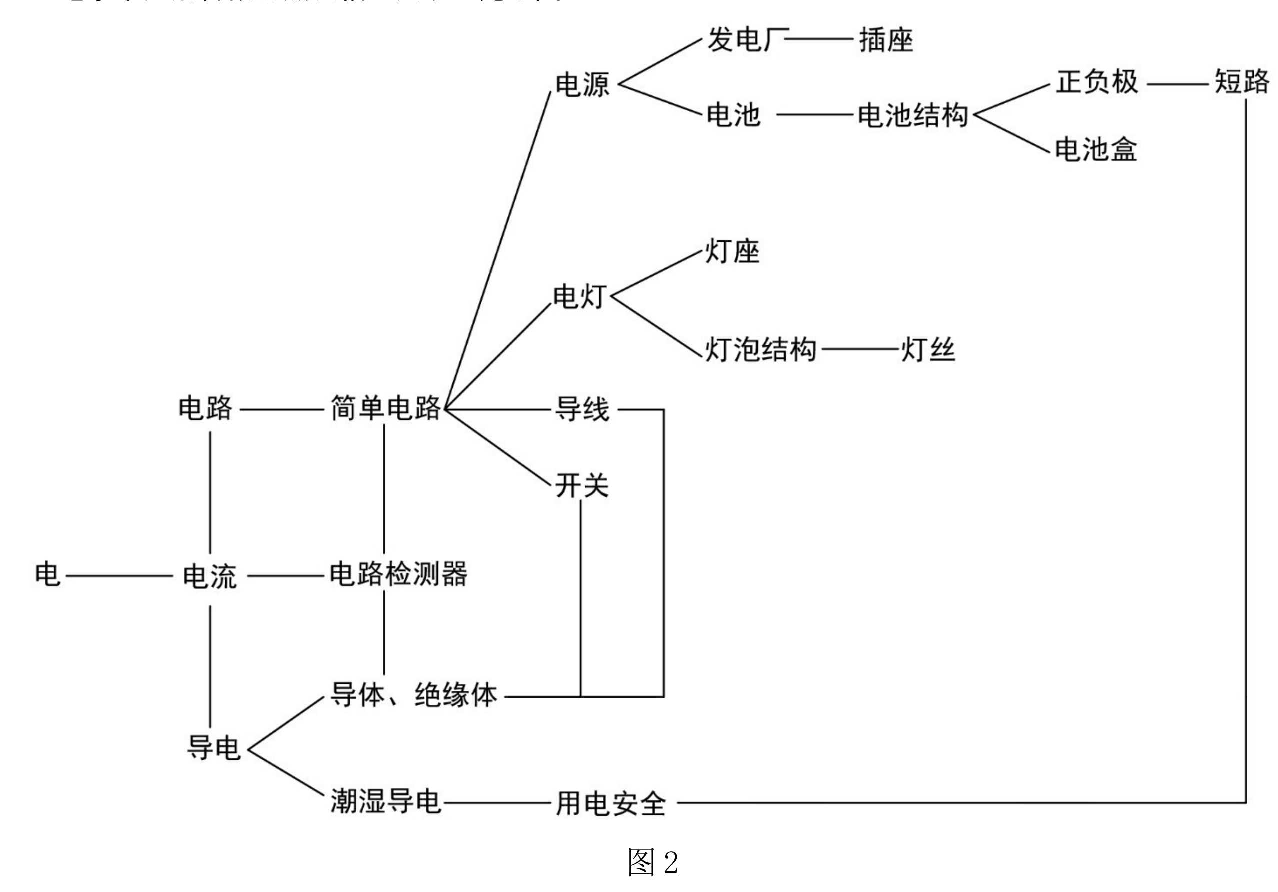


图 2

教材版本：教育科学出版社（郁波，2020）

4.4 基础测试题：详见“10.附件”。

注：为了保证区分度，基础测试题略微加大了难度。

4.5 反应时刺激任务

题号	材料内容	是否跨领域（单元外）	单元外概念
第 1 题	电池有南北极，不能装反	否	——
第 2 题	简单电路不包括电磁铁	是	电磁铁
第 3 题	磁铁是导体	是	磁铁
第 4 题	电灯泡里有导体和绝缘体	否	——
第 5 题	电路是闭合回路	否	——
第 6 题	短路是因为进水了	否	——
第 7 题	电池是电源	否	——
第 8 题	电脑坏了可能是因为里面的电路没有闭合	是	电脑
第 9 题	纯净的水导电	否	——
第 10 题	简单电路是一个“圈”	否	——
第 11 题	灯丝导电	否	——
第 12 题	电子手表里有闭合回路	是	电子手表
第 13 题	电路因为导电，所以里面没有绝缘体	否	——
第 14 题	当你发送消息时，有电流经过手机	是	手机
第 15 题	电路中含有电池	否	——

表 1

测试题概念是否跨单元，可参见上文 4.3。

5. 实验准备及实施

5.1 被试准备：

我们选取了北京市东城区 Q 小学某五年级班级的 22 名学生作为被试班级，同时，本文作者之一作为成人被试亦被采集了反应时数据，以备对照。之所以选择五年级而不是四年级，是因为本届四年级在学习电学知识时，正赶上今年上半年北京全市因疫情居家学习，学习效果难以保证。

5.2 仪器准备：

实验选择 E-Prime 2.0 作为反应时数据采集软件，SPSS 24.0 作为数据处理软件，刺激呈现平台为一台 Redmi Book Pro14 锐龙版笔记本电脑（14 吋，60.008 赫兹）。

5.3 刺激任务流程

E-Prime 软件的刺激分成练习与正式实验两个程序，实验时要分别启动这两个程序。前者是为了让被试熟悉软件的使用方法，二者的编程思路完全一致，刺激材料的不同是二者的唯一区别。

首先，软件会呈现实验指导语，为一图片，被试读懂后按空格键进入刺激任务。完成刺激任务时，屏幕正中首先会出现红色注视点“+”250ms，后呈现题号“第 X 题”250ms，然后呈现刺激材料。练习环节的刺激材料均为类似“你是男生”或“你是四年级学生”的常识题，正式实验的刺激材料详见本文 4.5。练习题共 20 道，正式实验共 15 道。所有题目的呈现均为白底黑字，中文为黑体字（36 号），英文及数字为 Times New Roman 字体（36 号）。被试在判断正误后按 J 或 F 键作答并进入下一题（正确 J，错误 F）。所有题目等待 5000ms 无作答后自动跳入下一题。测试结束后，屏幕呈现结束语：“实验结束，感谢你的参与！”，3000ms 后程序跳出，返回 E-Prime 2.0 编辑界面。

程序运行流程详见下图。

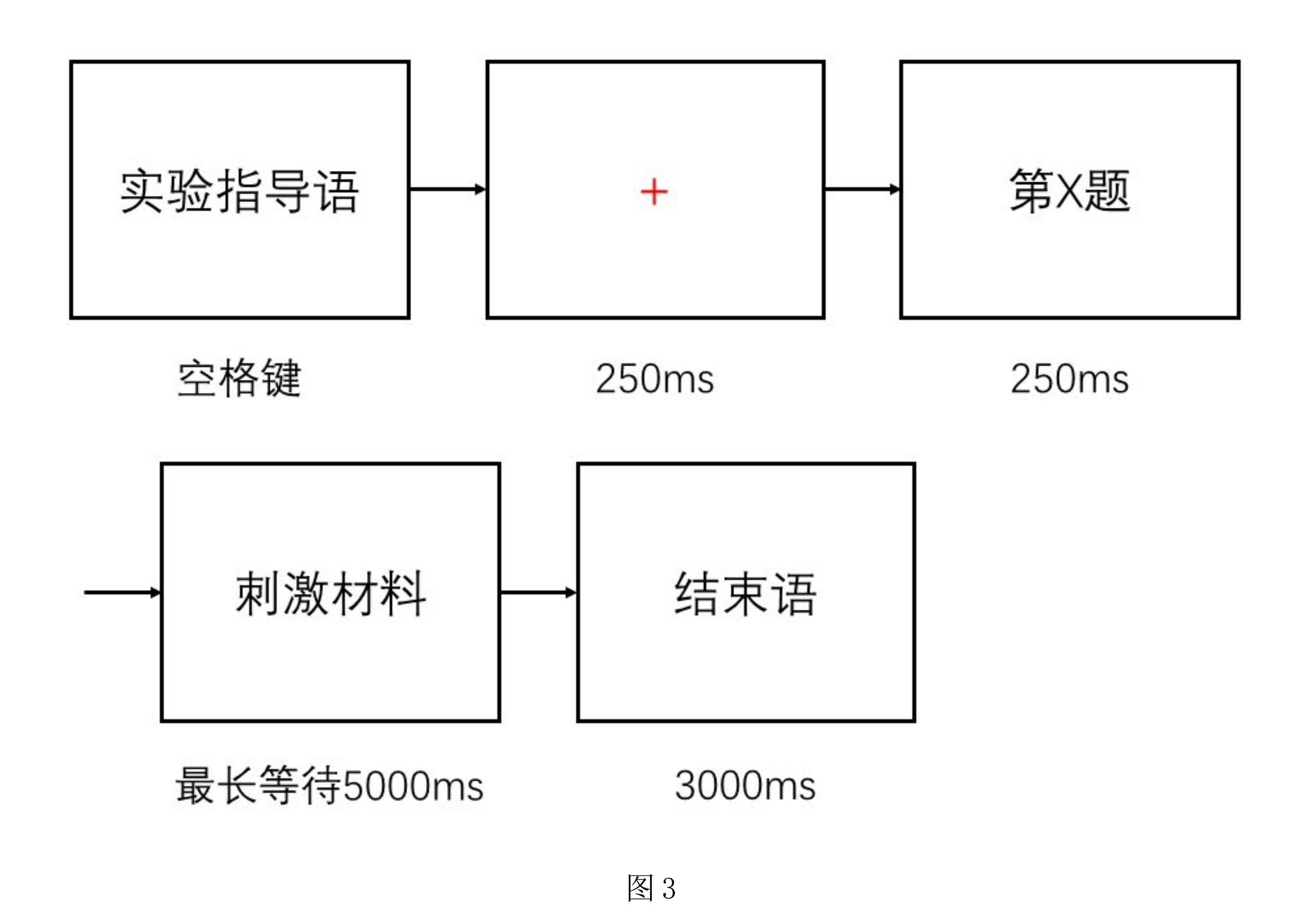


图 3

5.4 防预测工作

为了防止被试预测实验目的，我们做了如下工作：

1 反应时测试的刺激材料既包含单元内概念，也包含跨单元（甚至是非小学科学教学计划内的概念，如电脑、手机等）概念。

2 只告诉被试测试涉及电学知识，但不告知具体细节及实验目的；

3 所有 22 名学生在参加基础测试时均未被告知还有另一个测试（反应时任务）的存在；

④ 因所有参加反应时任务的被试均来源于同一班级，相互认识，其很有可能根据其他被试以往学习成绩猜测实验目的，所以在反应时任务时我们将高分组和低分组打乱顺序，随机抽取完成该任务，使其不易根据“成绩好/坏”及实验顺序对实验目的进行预测；

⑤ 虽然成人被试知道大致实验目的，但并未见过反应时任务的题目。

反应时任务测试后的访谈显示，所有被试（成人除外）均不能准确说出实验目的。

6. 实验结果及分析

6.1 基础测试

在所有 22 名学生中，我们选取了成绩最高及最低的各 3 名（共 6 名）学生成为反应时被试，占所有学生的 27.27%。

下图为基础测试的组统计和独立样本检验（表 2、3）。由表 2，Hedges g 值可得高分组与低分组的效应量为 8.85，效应极为显著（本文利用 Cohen’d 法计算样本效应量，当样本值＜10 时，利用 Hedges’g 法，下同）。由表 3，高分组与低分组的对比符合齐性检验（显著性 0.308），且统计学差异极显著（显著性（双尾）为 0.000，小于 0.01），满足遴选标准。

	个案数	平均值	标准差	标准误差平均值
高分	3	82.6667	10.06645	5.81187
低分	3	13.3333	4.61880	2.66667

表 2

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性（双尾）	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	1.362	0.308	10.843	4	0.000	69.33333	6.39444	51.57952	87.08715
假定不等方差			10.843	2.806	0.002	69.33333	6.39444	48.16550	90.50116

表 3

6.2 总体反应时

表 4 为 6 名被试的总体反应时（全部反应时）及平均正确率。注意的是，由于基础知识的掌握程度本就是本研究的重要参数之一，客观上存在被试在完成反应时测试时出现大量错误的可能，因此本研究并未设置容错限制，并不像相关研究那样剔除正确率低于 90%的被试。

被试编号	组别	题号	反应时（ms）	正确率
1	高分	第 1 题	2223	0.40
		第 2 题	1571	
		第 3 题	1367	
		第 4 题	2550	
		第 5 题	1602	
		第 6 题	2176	
		第 7 题	1654	
		第 8 题	3541	
		第 9 题	1992	
		第 10 题	2325	
		第 11 题	1751	
		第 12 题	1628	
		第 13 题	2513	
		第 14 题	2433	
		第 15 题	1594	
2	高分	第 1 题	2953	0.53
		第 2 题	2665	
		第 3 题	2069	
		第 4 题	3603	
		第 5 题	2723	
		第 6 题	3074	
		第 7 题	3352	
		第 8 题	4489	
		第 9 题	3139	
		第 10 题	3475	
		第 11 题	5000	
		第 12 题	2849	
		第 13 题	3698	
		第 14 题	3422	
		第 15 题	2453	
3	高分	第 1 题	2554	0.53
		第 2 题	4298	
		第 3 题	2654	
		第 4 题	2700	

		第 5 题	2830	
		第 6 题	3541	
		第 7 题	2669	
		第 8 题	3793	
		第 9 题	4115	
		第 10 题	3089	
		第 11 题	2803	
		第 12 题	3222	
		第 13 题	3983	
		第 14 题	3011	
		第 15 题	2171	
	高分组正确率总计			0.49
4	低分	第 1 题	2912	0.60
		第 2 题	2988	
		第 3 题	1551	
		第 4 题	2892	
		第 5 题	1088	
		第 6 题	1502	
		第 7 题	1520	
		第 8 题	2267	
		第 9 题	2204	
		第 10 题	1858	
		第 11 题	2904	
		第 12 题	2189	
		第 13 题	5000	
		第 14 题	1655	
		第 15 题	2606	
5	低分	第 1 题	1394	0.53
		第 2 题	1770	
		第 3 题	1198	
		第 4 题	2643	
		第 5 题	1950	
		第 6 题	1513	
		第 7 题	1513	
		第 8 题	3133	
		第 9 题	1842	
		第 10 题	1437	
		第 11 题	1187	
		第 12 题	2100	
		第 13 题	1742	
		第 14 题	1527	
		第 15 题	2633	
6	低分	第 1 题	2634	0.87
		第 2 题	2861	
		第 3 题	2053	
		第 4 题	1803	
		第 5 题	2307	
		第 6 题	2029	
		第 7 题	1384	
		第 8 题	2689	
		第 9 题	3089	
		第 10 题	2368	
		第 11 题	1584	
		第 12 题	2473	
		第 13 题	2033	
		第 14 题	1844	
		第 15 题	1725	
	低分组正确率总计			0.67
7	成人	第 1 题	2624	0.67
		第 2 题	3770	
		第 3 题	3942	
		第 4 题	3000	
		第 5 题	2240	
		第 6 题	3522	
		第 7 题	2073	
		第 8 题	4389	
		第 9 题	2354	
		第 10 题	2387	
		第 11 题	2419	
		第 12 题	3255	

第 13 题	3410
第 14 题	3544
第 15 题	2032

表 4

表 5 和表 6 为 6 名被试总体反应时的组统计及独立样本检验结果。由数据可看出，效应极为显著（ES=0.91），高分组的反应时明显大于低分组，且数据的统计差异极显著（P=0.000）。反映出低分组的激活更加容易，思维更加灵活。

	个案数	**平均值**	标准差	标准误差平均值
高分	45	2829.2667	846.61297	126.20561
低分	45	2124.3111	719.63870	107.27740

表 5

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性（双尾）	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间	
								下限	上限
假定等方差	1.327	0.252	4.256	88	0.000	704.95556	165.63906	375.78274	1034.12837
假定不等方差			4.256	85.774	0.000	704.95556	165.63906	375.66366	1034.24746

表 6

6.3 跨领域概念反应时

但是这种活跃是否是一种误差？我们将所有 5 道跨领域激活题目的反应时单独采择出（表 6），并对其进行分析

被试编号	组别	题号	反应时（ms）
1	高分	第 2 题	1571
		第 3 题	1367
		第 8 题	3541
		第 12 题	1628
		第 14 题	2433
2	高分	第 2 题	2665
		第 3 题	2069
		第 8 题	4489
		第 12 题	2849
		第 14 题	3422
3	高分	第 2 题	4298
		第 3 题	2654
		第 8 题	3793
		第 12 题	3222
		第 14 题	3011
4	低分	第 2 题	2988
		第 3 题	1551
		第 8 题	2267
		第 12 题	2189
		第 14 题	1655
5	低分	第 2 题	1770
		第 3 题	1198
		第 8 题	3133
		第 12 题	2100
		第 14 题	1527
6	低分	第 2 题	2861
		第 3 题	2053
		第 8 题	2689
		第 12 题	2473
		第 14 题	1844
7	成人	第 2 题	3770
		第 3 题	3942

第 8 题	4389
第 12 题	3255
第 14 题	3544

表 7

表 8 和表 9 为该维度下的组统计及独立样本检验结果。由数据可看出，效应极为显著（ES=1.07），在完成跨领域激活任务时，高分组的反应依然明显慢于低分组，且数据的统计学差异极显著（P=0.008）。这不仅印证了上文总体反应时数据的结果，而且也是本研究最直接的关键证据。

	个案数	**平均值**	标准差	标准误差平均值
高分	15	2932.7333	893.53379	230.70943
低分	15	2153.2000	581.38777	150.11368

表 8

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	**显著性**	t	自由度	**显著性（双尾）**	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	2.102	0.158	2.832	28	0.008	779.53333	275.24709	215.71524	1343.35143
假定不等方差			2.832	24.052	0.009	779.53333	275.24709	211.51670	1347.54997

表 9

6.4 剔除审题习惯因素

但这里还遗留了一个问题：一般来说，成绩高的学生都有审题仔细的好习惯。那么，高分组被试较慢的反应时会不会与他们的审题习惯有关（即他们花了更多时间在审题上）？

我们认为，这个因素的可能性很小，原因如下：

6.4.1 平均正确率对比

从表 3 中可以看出，高分组的平均正确率反而不如低分组（高分组 0.49，低分组 0.67）。也就是说，假使多花的时间用在了审题与理解题意上，这部分用时并未体现出其价值。考虑到该组被试均为基础知识掌握较好的学生，这就更显得矛盾了。

6.4.2 反应时方差对比

假使多花的时间用在了审题上，那么高分组被试的作答行为应不同于低分组——因为他们显然有更多的思考时间。反映在数据上，他们的反应时方差应当明显异于低分组，以显示出更多的审题（阅读）成分的存在。

既往的研究证实了此种方法的价值，例如，李清研究了数学学优生与学困生在完成应用题时对于问题表征的反应区别。下图为该文其中一个数据表，SD 为方差（“单困生”为只是数学学科的学困生，“双困生”为数学、语文皆判定的学困生）。我们利用 SPSS 计算了该表中学优生与双困生的反应时方差的统计差异（因为双困生涉及到阅读理解的学困问题）。如表 10 所示，二者的反应时方差显示出极大的差异性（P=0.000）（李清，2009）。不同阅读能力者的阅读行为肯定是存在差异的（高晓妹，2010），因此从中我们可以看出，阅读行为对于反应时方差的影响。

表3-1-3 三类小学生各项反应正确频次及反应时

	学业类型	数字正确频次	数字反应时	关系词正确频次	关系词反应时	变量词正确频次	变量词反应时	其它正确频次	其它反应时
N	学优	31	31	31	31	31	31	31	31
	单困	30	30	30	30	30	30	30	30
	双困	31	31	31	31	31	31	31	31
M	学优	7.48	257.94	6.94	271.70	3.13	306.65	.52	358.77
	单困	7.00	278.17	6.33	302.07	1.13	356.10	.83	387.77
	双困	6.84	288.29	5.10	279.58	.48	324.26	.29	432.54
SD	学优	.724	50.25	.964	52.63	1.45	55.30	.81	51.99
	单困	1.02	48.47	1.60	63.52	1.36	62.47	1.46	58.68
	双困	1.44	44.87	2.27	50.85	.68	64.27	.59	37.50
Min	学优	6.00	204.00	5.00	200.00	1.00	230.00	.00	.63
	单困	5.00	204.00	.00	217.00	.00	247.00	.00	295.00
	双困	3.00	222.00	.00	210.00	.00	30.00	.00	301.00
Max	学优	8.00	417.00	8.00	435.00	7.00	408.00	2.00	472.00
	单困	8.00	358.00	8.00	436.00	4.00	475.00	5.00	497.00
	双困	8.00	432.00	8.00	419.00	2.00	426.00	2.00	436.00

图 4

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性(双尾)	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	1.532	0.283	14.343	4	0.000	158.0033	11.0157	127.4189	188.5878
假定不等方差			14.343	3.307	0.000	158.0033	11.0157	124.7181	191.2886

表 10

表 11 为我们统计的两组被试反应时方差的独立检验结果。从结果中我们不仅能看出两组数据不具备显著差异，甚至可以说几乎是一致的（P=0.797）。这反映出两组被试在作答时的行为方式没有太大差别，没有证据表明多花的时间用在冷静思考上。

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性(双尾)	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	5.461	0.080	-0.275	4	0.797	-57.60112	209.15795	-638.31668	523.11444
假定不等方差			-0.275	2.459	0.804	-57.60112	209.15795	-814.22216	699.01992

表 11

6.5 与成年被试的比较

如前所述，我们还采集了 1 名成年人的数据，以考察两组被试谁的激活模式更接近于成年人。由于该成年被试为一名科学教师，电学与磁学知识均为该名被试平时需要讲授的内容，所以我们默认该名被试的基础测评成绩为满分。

(1) 总体反应时对比

表 12-15 分别为高分组-成人、低分组-成人总体反应时的组统计与独立样本统计结果。从表中可以看出，相比之下，高分组被试的反应时明显更接近于被试（高分组与成人无显著性差异，低分组的差异极显著）。需注意的是，该部分的效应分析出现了背离：$ES_{高-成}$=0.33，$ES_{低-成}$=1.49，造成该种效应的原因有可能是成人被试样本量的关系（我们只采集了 1 名成人的反应时数据），因此高分组-成人的结果效应在被应用时需慎重。

	个案数	**平均值**	标准差	标准误差平均值
高分	45	2718.1556	882.58744	131.56837
成人	15	2997.4000	749.14254	193.42777

表 12

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	**显著性**	t	自由度	**显著性（双尾）**	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	0.035	0.852	-1.099	58	0.276	-279.24444	254.10430	-787.88947	229.40058
假定不等方差			-1.194	28.042	0.243	-279.24444	233.93276	-758.40204	199.91315

表 13

	个案数	**平均值**	标准差	标准误差平均值
低分	45	2013.2000	647.97358	96.59420
成人	15	2997.4000	749.14254	193.42777

表 14

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	**显著性**	t	自由度	**显著性（双尾）**	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	1.326	0.254	-4.899	58	0.000	-984.20000	200.88415	-1386.3133	-582.08669
假定不等方差			-4.552	21.429	0.000	-984.20000	216.20532	-1433.2757	-535.12427

表 15

(2) 跨领域概念激活反应时对比

表 16-19 为在完成跨领域激活任务时高分组-成人、低分组-成人的统计结果。同 6.5.1 一致，高分组被试依然更接近于成年被试。同时，两组的效应都极为显著：$ES_{高-成}$=1.10，$ES_{低-成}$=3.11

总之，对于跨领域概念激活的模式，基础知识掌握得越好，其模式越接近于科学教师。

	个案数	**平均值**	标准差	标准误差平均值
高分	15	2932.7333	893.53379	230.70943
成人	5	3780.0000	426.77453	190.85937

表 16

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性（双尾）	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	2.526	0.129	-2.017	18	0.059	-847.26667	419.98559	-1729.6237	35.09031
假定不等方差			-2.830	15.049	0.013	-847.26667	299.42302	-1485.2896	-209.24378

表 17

	个案数	平均值	标准差	标准误差平均值
低分	15	2153.2000	581.38777	150.11368
成人	5	3780.0000	426.77453	190.85937

表 18

	莱文方差等同性检验		平均值等同性 t 检验						
	F	显著性	t	自由度	显著性（双尾）	平均值差值	标准误差差值	插值 95%置信区间 下限	上限
假定等方差	1.062	0.316	-5.720	18	0.000	-1626.8000	284.42822	-2224.3615	-1029.2385
假定不等方差			-6.700	9.447	0.000	-1626.8000	242.81972	-2172.1625	-1081.4375

表 19

综上数据分析，基础知识高分被试的跨领域概念激活反应时明显多于低分被试，显示出激活、调用跨领域概念较为困难，且两组被试的反应时数据具备极明显的统计差异。

7. 对实验结果的讨论

7.1 原因试探

但是，为何会出现如此的情况呢？如果人的思考是模式化的，可能会有助于解释本实验的现象。

Gobet 和 Simon(1996)测试了职业国际象棋联盟冠军卡斯帕罗夫（Gary Kasparov）同时与 4-8 名象棋大师对弈时的老练程度。他们发现，尽管承受了巨大的压力，卡斯帕罗夫几乎和在巡回赛中只面对一位选手时表现得一样出色。两位研究者认为，卡斯帕罗夫的优越之处更多的是来自他的识别（棋局）模式的能力。Lesgold 等人(1988)比较了 5 位专家级 X 光片研究者与住院医师在诊断 X 光片时的表现。他们发现专家与任何一位非专家的住院医师相比，能注意到更多 X 光片上的具体细节，能够对原因及后果给出更多假设，并能将许多症状结合起来分析。而 Glaser 和 Chi(1988)在回顾了一些类似上文的研究后发现，专家只在专门领域内卓越超群。也就是说，他们的知识具有领域特殊性的特点（凯瑟琳•加洛蒂,2017,P181）。

思考的模式化在认知神经科学领域也得到了证实。李坤成等人利用 BOLD-fMRI 对 9 名被试在用不同复杂程度（一个或三个字）给图片命名的任务中进行扫描，结果发现“出声命名复杂程度的增加，导致脑激活更加集中的趋势”。李坤成等人认为这个现象“反映了人脑在信息加工方面的高度模式化”（杨延辉,卢春明,李坤成等,2008）。

如果说人的思考是模式化的，那么它将有助于解释本研究的现象：因为人的思考是模式化的，所以基础知识越好，这种模式的固着也就会越强，那么跨模式（领域）的思考自然也越不容易。反之，基础知识薄弱，思考模式未建立起来，那么思考的羁绊自然也会少许多。

当然，以上只是推论，是否如此尚需针对性的研究。

7.2 发散思维与创造力

本文的实验结果很容易让人想到发散思维与创造力的关系。

正如刘春雷等人的观点：“可以认为，对于创造性思维还没有一个很客观的定义和评价标准”（刘春雷、王敏、张庆林,2009）。长久以来，关于创造力的争论一直未有一个明确、公允的结论。关于其心理学基础，各派著述颇多，但影响力较大的，则首推柯勒（Wolfgang Köhler）的顿悟学习与吉尔福特（J.P.Guilford）的发散思维理论。柯勒在对黑猩猩“苏丹”的取食行为研究后提出，顿悟是人或动物将既有知识重构而解决新问题的方法：虽然苏丹知道用箱子和棍子可以够到高处的香蕉，但柯勒并未教给它二者结合的使用方法，这个方法显然是它对之前两种方法的重构、组合后的产物（菲利普·津巴多,2017,P117）。而吉尔福特的理论则认为发散思维是“沿着不同的方向思考，重新组织当前的信息和记忆系统中存储着的信息，产生出大量、独特的新思想”（刘春雷、王敏、张庆林,2009）。就发散思维而言，吉尔福特认为，发散思维具有流畅性、变通性和独特性的特点。值得注意的是，其中的“变通性”即含有跨领域思考与激活间的涵义（刘伟,1999）。

但如果创造力的心理学基础真的是发散思维的话，结合本文的实验结果可能会发现一个矛盾：为了使学生的创造力更强，应该着力培养其发散思维，但这样就应避免让学生掌握更多的基础知识。而这又显然是违背常识的——几乎没有创造成果不是建立在基础知识上的。因此，本实验的结果可能指出了发散思维作为创造力心理学基础这一说法存在着潜在的逻辑矛盾。

当然，本文只是探讨了跨领域概念激活与基础知识的关系，并不是创造力的针对性研究。因此，这部分的讨论只是一个间接的证据，不足以作为直接的理论支撑。

8. 不足与改进

在疫情期间进行研究是本研究存在的最大挑战。

自 2022 年 3 月中旬起，北京陆续开始出现疫情及局地封控，4 月底开始全市居家学习。这种始料未及的局面给本研究带来了两个主要问题：第一是测试题目的磨合度不足。为了保证信效度，无论是基础测试还是反应时测试，都必须经历几轮磨合——尤其是需要进行预测试。但学生居家学习使得我们无法找到合适的被试开展预测试。最终，所有题目都只经历了一轮预测试（反应时预测试的被试是一名成年人）。因此，本研究测试题存在信效度系统性偏倚的可能。第二是被试样本过少的问题。6 月底全市中小学复课，实验方能继续下去。但随即进入期末复习阶段，为了不打扰学生的复习，我们只能采用临近放假前的一周进行实验（反应时实验时间只有一节课）。选择样本班的工作受到了极大限制。因此，本研究存在被试样本过少，结论代表性偏倚的可能。

之所以仓促也要完成实验，是因为疫情带来的不确定性：一旦下学期依然出现大规模居家学习的情况，研究计划有可能被迫再次搁置半年，那么之前的实验设计与前期工作很可能面临“推倒重来”的局面。也正是因此，本文的题目为“预研究”（pre-study），即不是一项完备的研究。我们也不推荐将本文结论

作为决定性证据，而只能作为一种参考。

本研究结论还不除外另一种可能：即高分组的反应时较大，是高分与低分学生存在完全不同的阅读与语义加工模式的缘故。既往有不少关于不同认知水平下阅读模式差异性的研究，例如高晓妹在对 3-6 岁儿童（显然 3 岁与 6 岁儿童的认知水平是明显不同的）的阅读研究中发现，随着年龄的增长，单一视觉模式在减少，而联合视觉模式在增加（高晓妹,2010）。也即，认知水平与阅读（具体到本研究可类比为审题）模式存在关联。那么，基础知识的掌握程度是否可以取代认知水平的位置呢？显然，要回答这个疑问，还需要眼动研究的帮助。今后，我们将尝试从此角度对该现象进行挖掘。

9. 全文结论

综上所述，实验显示，儿童对科学概念的跨领域激活能力与其基础知识的掌握程度呈负相关。即，基础知识越差，其跨领域联想能力反而更强，思维更活络。我们认为，造成这一现象的根本原因可能在于，人脑对信息加工具有模式化的倾向。从该结果出发，本研究认为，将发散思维视为创造力的心理学基础可能存在潜在的逻辑矛盾。

而对于本研究缘起的那名科学教师，我们认为其薄弱的基础知识导致了其联想到“指北针”，这种可能性不能除外。

10. 附件

10.1 基础测试题

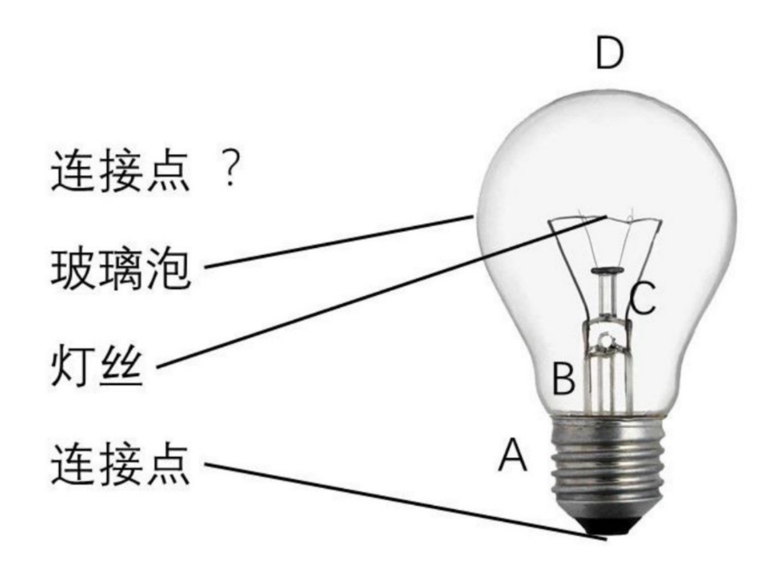
班级：　　　　　　　　　　　　　　　　姓名：

1. 选择题（共 40’）

1.1 以下不属于电源的是（　　）

A 插座　B 灯泡　C 干电池　D 五号电池

1.2 “？”应该连接到（　　）



1.3 不经过灯泡或其它用电器，而将电池的正负极直接连通（　　）

A 叫做“简单电路”

B 是电池的常见连法

C 需要注意是否有接触不良的情况

D 可能会起火爆炸

1.4 以下不属于简单电路的必须组成部分的是（　　）

A 电池　B 开关　C 导线　D 灯泡

1.5 以下说法正确的是（　　）

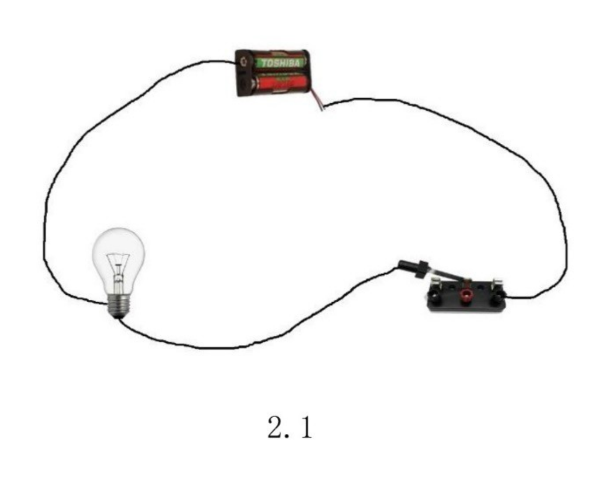
A 为防止触电，在换灯泡之前，第一件要做的事是戴上橡胶手套

B 将电池正负极反装，电路中电流的方向也会相反运动

C 一个简单电路应该至少包括电池、灯泡和开关这 3 种组成部分

D 绝缘体也不一定完全不能导电

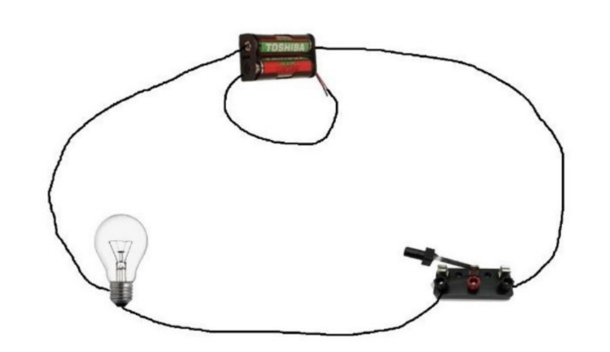
2. 以下这些电路中的灯泡都不能亮，试着圈出并标出问题出在哪了（假设所有的零件都是好的）（共 40’）。



2.1

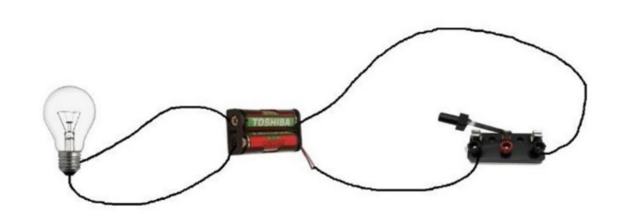


2.2



2.3

-



2.4



2.5

3. 试着按照下图 1 中的样子，把图 2 中电路中电的流动方向用箭头画出来（图 1 中的箭头代表电的流动方向）（共 20’）

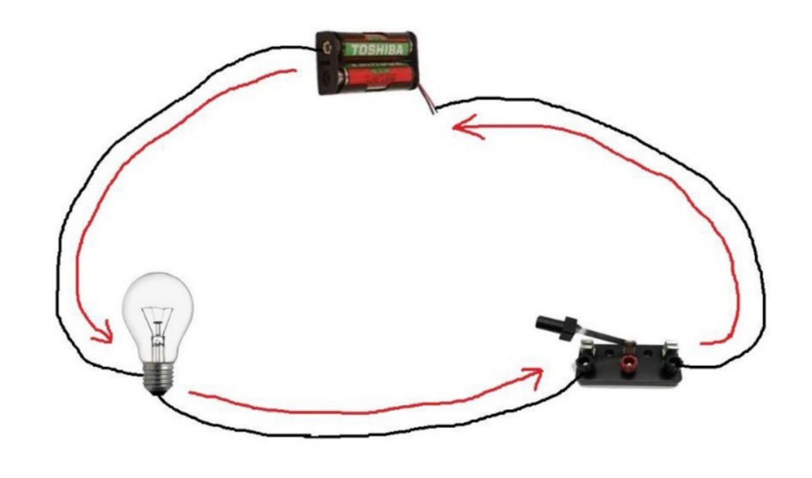


图 1

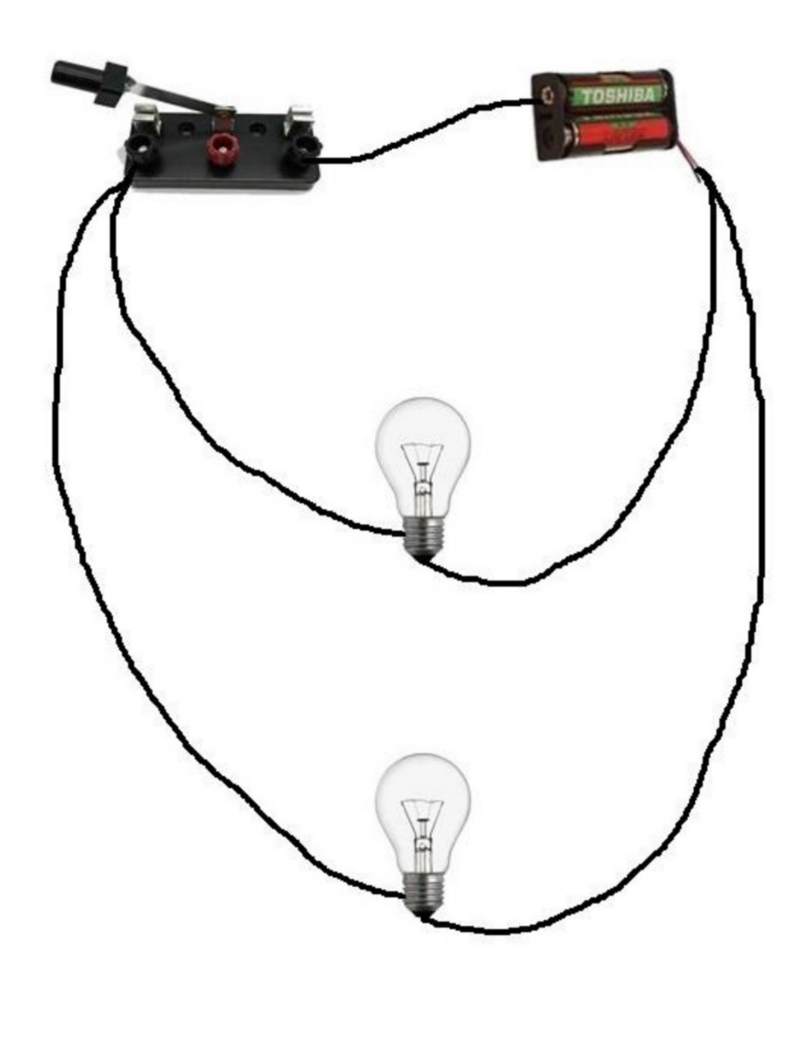


图 2

10.2 教师“导体和绝缘体”一课调查问卷

① 在学习《导体和绝缘体》一课时（非疫情期间），你是否带领学生做了探究不同物体的导电性实验？

□是　□否

② 在探究物体的导电性时，引导学生探究过指北针的导电性吗？

□是　□否

③ 如果探究了指北针的导电性，看到了什么现象？

④ （接上题）通过探究得到指北针的导电性能是

□导体　□绝缘体

参考文献

郁波.(2020).*义务教育教科书《科学》*.北京：教育科学出版社
凯瑟琳・加洛蒂.(2017).*认知心理学：认知科学与你的生活*.北京：机械工业出版社
菲利普・津巴多.(2017).*津巴多普通心理学*.北京：机械工业出版社
吕晓晶,任学柱.(2018).联想学习的发展及过程的模型表征.*第二十一届全国心理学术会议摘要集*,328-329
李清.(2009).基于PASS理论的小学数学学习困难儿童应用题问题表征研究.*华东师范大学*,86-87
高晓妹.(2009).汉语儿童图画书阅读眼动研究.*华东师范大学*,3-256
张积家,付雅,王斌.(2020).文化影响亲属词性别概念加工中的空间隐喻与重量隐喻.*心理学报,* 52(4),440-455
吴亚楠,石雷,曲云鹏,赵广平.(2019).儿童概念组织的两种偏好：分类学关系和主题关系.*心理研究,*12(4),300-309
刘春雷,王敏,张庆林.(2009).创造性思维的脑机制.*心理科学进展,*17(1),106-111
张积家,李德高,段新焕.(2010).论儿童的概念联系及其发展.*鲁东大学学报（哲学社会科学版）*,27(5),93-99
杨延辉,卢春明,李坤成等.不同复杂程度出声言语表达的神经机制：一项BOLD-fMRI研究.*医学影像学杂志,*2008(06),664
刘伟.(1999).吉尔福特关于创造性才能研究的理论和方法.*北京师范大学学报（社会科学版）*,1999(5),41-48
叶平枝,马倩茹.(2012).2-6岁儿童创造性思维发展的特点及规律.*学前教育研究,*2012(08),36-41
Yangwen Xu,Xiaosha Wang,Xiaoying Wang et al.(2018).Doctor,Teacher,and Stethoscope:Neural Representation of Different Types of Semantic Relations.*Journal of Neuroscience*.DOI: https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2562-17.2018
林崇德.(2020).*林崇德：核心素养时代，培养创造性的突破口在哪里？*2020.12.12,来自：
https://www.sohu.com/a/437792873_100020578

The relationship between the interdisciplinary activation of children's scientific concepts and their mastery of basic knowledge：A pre-study based on reaction time

WANG Zhong; CUI Zhen; ZHANG Yi

(Beijing Doers Education Consulting Co.,Ltd; Beijing Dongcheng District Qianmen Primary School ;Beijing Fengtai District Fengtai First Primary School)

Abstract

One concept activates another concept (such as associating one concept with another), which belongs to the organizational form of knowledge representation. It reflects the human brain's management method of dealing with a large amount of knowledges. At the same time, the activation of concepts plays an important role in children's learning new knowledges. Previous studies have shown that the activation of concepts is not random, but has its internal laws. It is mainly divided into "taxonomic relationship" and "thematic relationship". A cognitive neuroscience study shows that taxonomic relationship is the main relationship of concept activation, and theme relationship is embedded in it. Therefore, interdisciplinary concept activation should not be easy.

The main purpose of this experiment was to investigated the interdisciplinary concepts activation ability of different subjects through reaction time(RT). The total sample of the experiment was 22 fifth grade students. We first conducted a round of basic tests about circuit knowledges, and selected the three students with the highest and lowest scores(6 in total), and assigned them to the high and low groups respectively to enter the second round of

tests. The second round of test was the RT test, with a total of 15 test questions. The test was conducted with E-Prime software, and all participants experienced different degrees of practices before the formal test. Independent sample t-test method is mainly used for data analysis.

The results of the experiment showed that the accuracy of the high group in the RT test was significantly lower than that of the low group, while the RT was significantly higher than that of the low group ($P < 0.05$), that is, the interdisciplinary activation activation of concepts was negatively correlated with the participants' mastery of basic knowledge. This paper also collected the RT data of an adult science teacher. The analysis shows that the better the basic knowledge of the participants, the closer their conceptual interdisciplinary activation mode is to adults.

The conclusion of this study does not seem to support the psychological basis of creativity as divergent thinking. Because if this research is correct, in order to cultivate people's thinking flexibility and interdisciplinary divergence ability, the students should not be allowed to master more knowledges, but it is obvious that:more less of knowledges,more low valuable innovation. Therefore, the conclusion of this study may more support the insight learning theory of innovation.

Key words Scientific concepts;concept activation;basic knowledge;reaction time